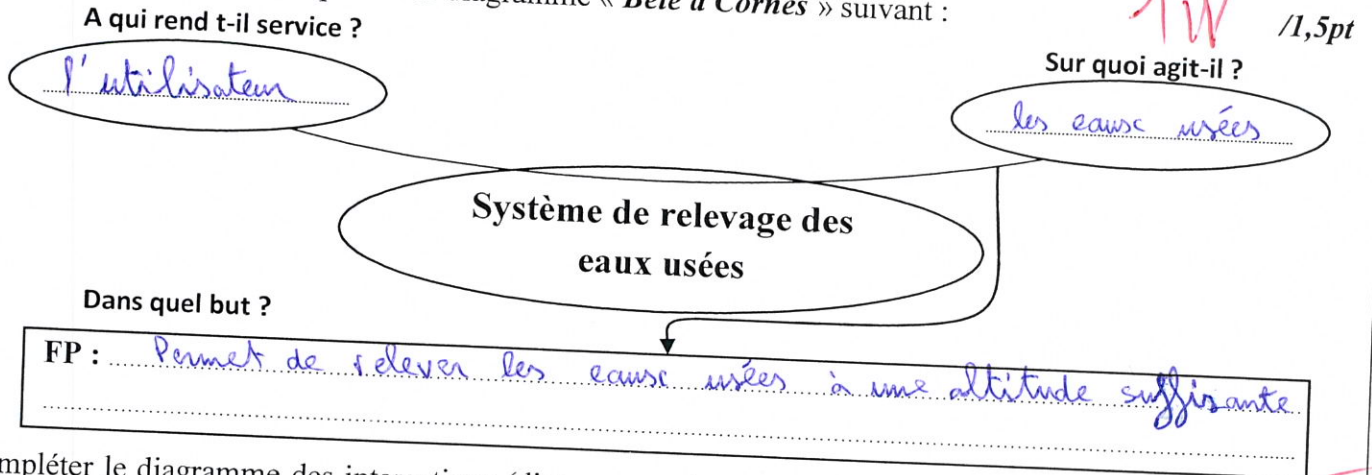


SEV 1 :

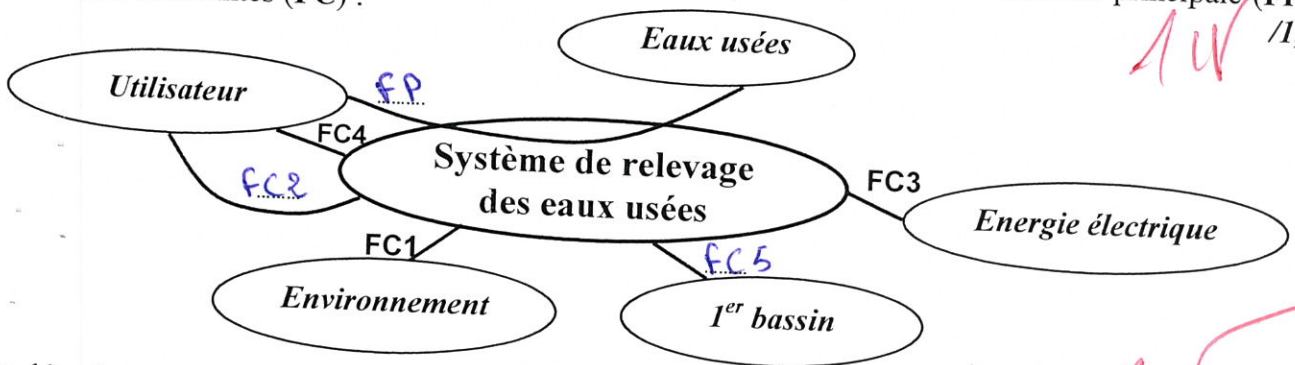
Documents réponses

Tâche 1.1 : Analyse fonctionnelle :

a- Exprimer le besoin en complétant le diagramme « Bête à Cornes » suivant :



b- Compléter le diagramme des interactions (diagramme pieuvre) en précisant la fonction principale (FP) et les fonctions contraintes (FC) :



c- Compléter les expressions des fonctions de service manquantes :

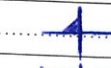

- FP : *Permet à l'utilisateur de relever les eaux usées à une altitude suffisante* /1,5pt
- FC1 : *Respecter l'environnement*
- FC2 : *Ne présenter aucun risque pour l'utilisateur ;*
- FC3 : *Etre alimenté par l'énergie électrique*
- FC4 : *Permettre la commande manuelle par l'utilisateur ;*
- FC5 : *Détecter le niveau des eaux usées dans le 1^{er} bassin.*

Tâche 1.2 : Analyse technique : se référer aux DRES pages 12/17 et 13/17.

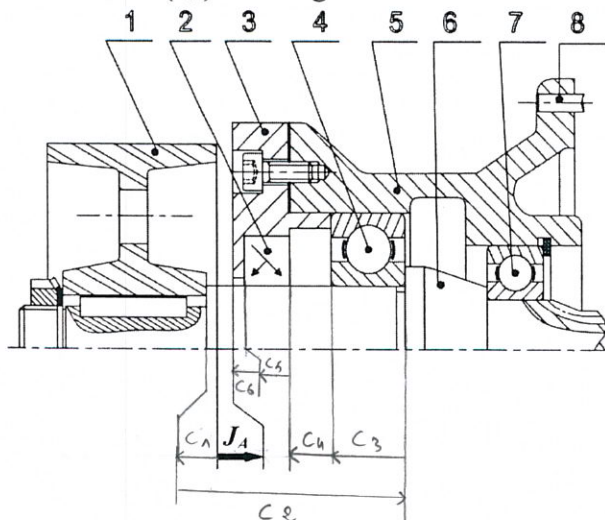
a- Compléter, par le nom et la fonction des pièces choisies, le tableau suivant :

Repères des pièces	Noms	Fonctions
11	<i>Vis de remplissage</i>	<i>assurer l'entrée de l'huile de remplissage</i>
2 et 24	<i>Joint à deux lèvres</i>	<i>assurer l'étanchéité des Roulements 4 et 36</i>
27	<i>Vis de vidange</i>	<i>assurer la sortie de l'huile de remplissage</i>
36	<i>Roulement à billes obliques</i>	<i>assurer le guidage en rotation des vis d'archimède</i>

b- Compléter, par le nom et le symbole normalisé de la liaison et le nombre de degrés de liberté, le tableau suivant :

La liaison	Nom de la liaison	Symbole normalisé de la liaison	Nombre de degrés de liberté	
			T	R
1/6	<i>encastrement</i>		<i>0</i>	<i>0</i>
6/5	<i>Pivot</i>		<i>0</i>	<i>1</i>

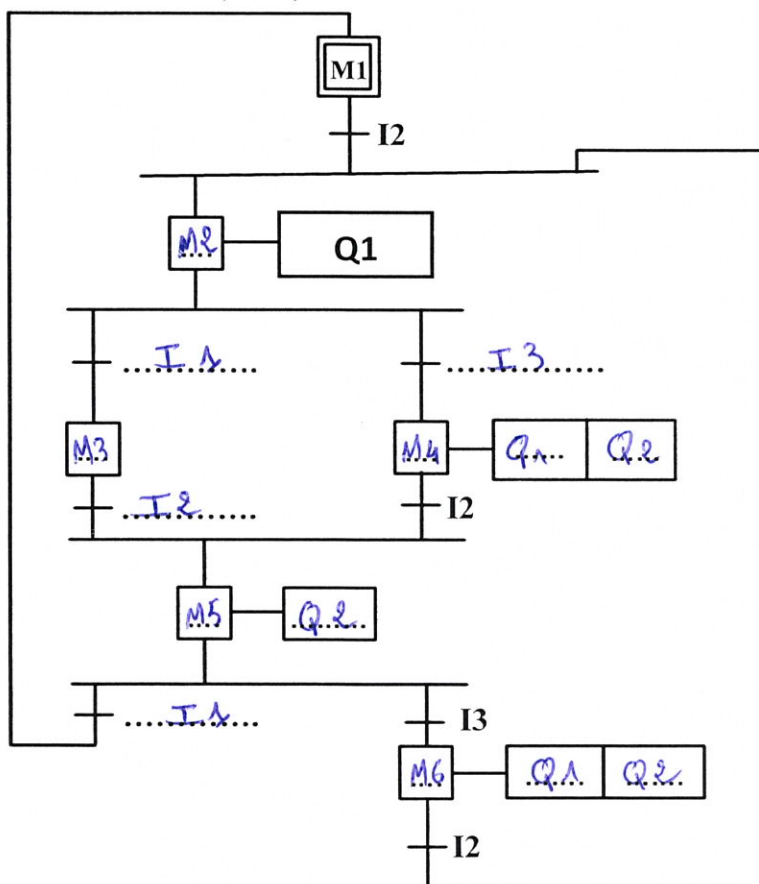
- c- Tracer, en négligeant le jeu interne dans les roulements, la chaîne de cotes minimale relative au jeu fonctionnel (J_A) de la figure ci-dessous et donner l'expression littérale du jeu maximal noté J_{AMax} : /2pts



$$J_{AMax} = C_{2_{max}} - C_{1_{min}} - C_{3_{min}} - C_{4_{min}} - C_{5_{min}} - C_{6_{min}} - C_{7_{min}} - C_{8_{min}} - C_{9_{min}} - C_{10_{min}} - C_{11_{min}} - C_{12_{min}} - C_{13_{min}} - C_{14_{min}} - C_{15_{min}} - C_{16_{min}} - C_{17_{min}} - C_{18_{min}} - C_{19_{min}} - C_{20_{min}} - C_{21_{min}} - C_{22_{min}} - C_{23_{min}} - C_{24_{min}} - C_{25_{min}} - C_{26_{min}} - C_{27_{min}} - C_{28_{min}} - C_{29_{min}} - C_{30_{min}} - C_{31_{min}} - C_{32_{min}} - C_{33_{min}} - C_{34_{min}} - C_{35_{min}} - C_{36_{min}} - C_{37_{min}} - C_{38_{min}} - C_{39_{min}} - C_{40_{min}} - C_{41_{min}} - C_{42_{min}} - C_{43_{min}} - C_{44_{min}} - C_{45_{min}} - C_{46_{min}} - C_{47_{min}} - C_{48_{min}} - C_{49_{min}} - C_{50_{min}} - C_{51_{min}} - C_{52_{min}} - C_{53_{min}} - C_{54_{min}} - C_{55_{min}} - C_{56_{min}} - C_{57_{min}} - C_{58_{min}} - C_{59_{min}} - C_{60_{min}} - C_{61_{min}} - C_{62_{min}} - C_{63_{min}} - C_{64_{min}} - C_{65_{min}} - C_{66_{min}} - C_{67_{min}} - C_{68_{min}} - C_{69_{min}} - C_{70_{min}} - C_{71_{min}} - C_{72_{min}} - C_{73_{min}} - C_{74_{min}} - C_{75_{min}} - C_{76_{min}} - C_{77_{min}} - C_{78_{min}} - C_{79_{min}} - C_{80_{min}} - C_{81_{min}} - C_{82_{min}} - C_{83_{min}} - C_{84_{min}} - C_{85_{min}} - C_{86_{min}} - C_{87_{min}} - C_{88_{min}} - C_{89_{min}} - C_{90_{min}} - C_{91_{min}} - C_{92_{min}} - C_{93_{min}} - C_{94_{min}} - C_{95_{min}} - C_{96_{min}} - C_{97_{min}} - C_{98_{min}} - C_{99_{min}} - C_{100_{min}}$$

Tâche 1.3 : Étude partielle de l'automatisme de commande des moteurs électriques M1 et M2 :

- a- Compléter le **Grafcet** point de vue **API (Zelio)** :

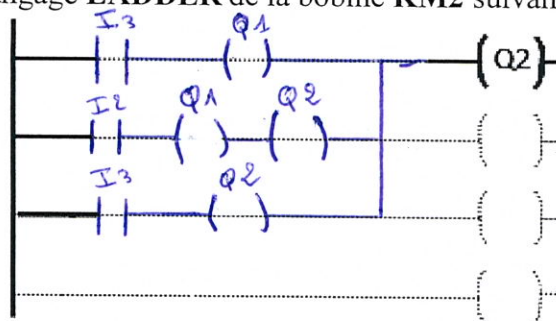


- b- Compléter le tableau des équations d'activation et de désactivation des étapes :

Etapes	Equation d'activation	Equation de désactivation
Etape 1	M5.I1	m2
Etape 2	M1.I2	m3+m4
Etape 3	M2.I1	m5
Etape 4	M2.I3	m5
Etape 5	I2(M3+M4)	m1+m6
Etape 6	M5.I3	m4

c- Compléter le programme en langage **LADDER** de la bobine **KM2** suivant :

/1,5pt



SEV 2 :

Tâche 2.1 : Choix du moteur électrique asynchrone triphasé en se basant sur les exigences et les données du cahier des charges **DRES page 15/17**.

On va considérer que chaque pas de la vis contient le même volume élémentaire V_e d'eau usée et que ce volume monte dans l'auge **38** suivant l'axe de la vis d'Archimède **25** (**DRES pages 12/17 et 13/17**).

N.B : Pour cette Tâche 2.1, prendre 2 chiffres après la virgule dans les calculs qui suivent.

- a- Calculer, en tenant compte du volume élémentaire V_e , la fréquence de rotation N_v (en **tr/min**) avec laquelle la vis **25** doit tourner afin de respecter le débit maximal $Q_M = 680 \text{ l/s} = 680 \text{ dm}^3/\text{s}$: /1pt

Donc :

$$N_v = \frac{Q_M}{V_e} \times 60 = \frac{680}{865} \times 60 \Rightarrow N_v = 46,95 \text{ tr/min}$$

- b- Déterminer, en tenant compte du pas P de la vis, la vitesse V (en **m/s**) de déplacement de l'eau, supposée constante suivant l'axe de la vis **25**, en prenant la fréquence de rotation $N_v = 47 \text{ tr/min}$: /1pt

Donc :

$$V = P \times N_v = 0,6 \times \frac{47}{60} = 0,47 \text{ m/s}$$

Afin de déterminer la puissance nécessaire sur le bout d'entrée de la vis **25** :

- c- Déterminer le nombre de pas n_p le long de l'hélice de la vis **25** en tenant compte de sa longueur L : /1pt

Donc :

$$L = P \times n_p \Rightarrow n_p = \frac{L}{P} = \frac{12,24}{0,6}$$

$$\Rightarrow n_p = 20,4 \text{ pas}$$

- d- En déduire, en tenant compte du volume élémentaire V_e et en prenant $n_p = 20,4$, le volume total V_t (en **m³**) d'eau usée mis en mouvement par la vis **25** dans son auge **38** : /0,5pt

Donc :

$$V_t = n_p \times V_e = 20,4 \times 869 \times 10^{-3}$$

$$\Rightarrow V_t = 17,72 \text{ m}^3$$

- e- Calculer la puissance utile P_u (en **kW**) pour élever, suivant l'axe de la vis **25**, le volume total V_t en tenant compte de l'inclinaison α de la vis (prendre $V = 0,47 \text{ m/s}$ et $V_t = 17,72 \text{ m}^3$) : /1pt

$$P_u = \frac{V_t \times \rho}{V \times \cos(\alpha)} = \frac{17,72 \times 10^3}{0,47 \times \cos(35)} = 46025,79 \text{ W} = 46 \text{ kW}$$

- f- Déterminer, en prenant $P_u = 47 \text{ kW}$, la puissance P_v (en **kW**) nécessaire sur le bout d'entrée de la vis **25**, en tenant compte du rendement $\eta_v = 0,65$ de celle-ci : /0,5pt

$$\eta_v = \frac{P_u}{P_v} \Rightarrow P_v = \frac{P_u}{\eta_v} = \frac{47}{0,65} = 72,30 \text{ kW}$$

Pour choisir le moteur adéquat :

- g- Déduire la puissance P_{re} (en kW) nécessaire à l'entrée du réducteur (pignon arbré 6), en tenant compte du rendement η_{acc} de l'accouplement élastique et celui du réducteur η_r et en prenant $P_v = 72,30$ kW. /0,5pt

$$\text{On a : } M_g = M_{acc} \times M_r = \frac{P_v}{P_{re}} \Rightarrow P_{re} = \frac{P_v}{M_{acc} \times M_r} = \frac{72,30}{0,97 \times 0,92} \Rightarrow P_{re} = 81,01 \text{ kW}$$

- h- Calculer la puissance mécanique P_m (en kW) utile sur l'arbre du moteur en tenant compte du rendement η_{pc} du système poulies-courroie : /0,5pt

$$\text{On a : } M_{pc} = \frac{P_{re}}{P_m} \Rightarrow P_m = \frac{P_{re}}{M_{pc}} = \frac{81,01}{0,95}$$

$$\Rightarrow P_m = 85,27 \text{ kW}$$

- i- Calculer la vitesse de rotation N_m (en tr/min) du moteur permettant de donner à la vis 25 la vitesse de rotation $N_v = 47$ tr/min : /1pt

$$\text{On a : } K = \frac{N_v}{N_m} \Rightarrow N_m = \frac{N_v}{K} = \frac{47}{1/31,5}$$

$$\Rightarrow N_m = 1480,5 \text{ tr/min}$$

- j- Choisir, en donnant la désignation à partir du DRES page 16/17, le moteur convenable qui va fournir à la vis d'Archimède 25 la puissance et la vitesse nécessaires : /0,5pt

Car on a : $P_m = 85,27 \text{ kW}$ et $N_m = 1480,5 \text{ tr/min}$, donc le moteur convenable est LS 280 MP

Tâche 2.2 : Vérification de la résistance et de la rigidité à la torsion de l'arbre 15, selon les données suivantes :

L'arbre 15 est assimilé à une poutre **cylindrique pleine** de diamètre d_{15} , soumise à un moment de torsion $M_t = 15970 \text{ N.m}$. L'arbre 15 est en acier pour lequel $R_{eg} = 245 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$. On prend pour cette construction un coefficient de sécurité $s = 3$ et un coefficient de concentration des contraintes $k_t = 1,6$.

N.B : Pour cette Tâche 2.2, prendre 2 chiffres après la virgule dans les calculs qui suivent.

- a- Écrire la condition de résistance à la torsion dans une section droite de l'arbre 15 : /0,5pt

$$\text{On a : } \tau = \frac{M_t}{S_{ns}} = \frac{M_t}{I_o} \times \frac{d_{ns}}{2} \leq R_{pg} = \frac{R_{eg}}{s}$$

- b- Déterminer le diamètre minimal d_{15min} (en mm), de l'arbre 15 : /2pts

$$\text{On a : } \tau = \frac{M_t}{I_o} \times \frac{d_{ns}}{2} \leq R_{pg} = \frac{R_{eg}}{s} \Rightarrow d_{nsmin} = \sqrt[3]{\frac{15970 \times 10^3 \times 3 \times 16}{\pi \times 245}}$$

$$\Rightarrow \frac{M_t \times d_{ns} \times 16}{\pi \times d_{ns}^4} \leq \frac{R_{eg}}{s}$$

$$\Rightarrow \frac{M_t \times 16}{\pi \times d_{ns}^3} \leq \frac{R_{eg}}{s}$$

$$\Rightarrow d_{ns}^3 \geq \frac{M_t \times s \times 16}{\pi \times R_{eg}}$$

$$\Rightarrow d_{nsmin} = \sqrt[3]{\frac{M_t \times s \times 16}{\pi \times R_{eg}}}$$

$$\Rightarrow d_{nsmin} = 99,86 \text{ mm}$$

- c- Calculer l'angle unitaire de torsion θ_{15} (en rad/mm), en prenant $d_{15} = 117 \text{ mm}$ et sachant que le module d'élasticité transversal du matériau de l'arbre 15 est $G = 80000 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$: /1pt

$$\text{On a : } \theta_{15} = \frac{M_t}{G \times I_0} = \frac{M_t \times 32}{G \times \pi \times d_{15}^4} = \frac{15970 \times 10^3 \times 32}{80000 \times \pi \times 117^4}$$

$$\Rightarrow \theta_{15} = 1,08 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

- d- Écrire la condition de rigidité à la torsion de l'arbre 15 : /1pt

$$\text{On a : } \theta_{15} = \frac{M_t}{G \times I_0} \leq \theta_{\text{limite}}$$

- e- Conclure sur la rigidité de l'arbre 15, si $\theta_{\text{limite}} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ rad/mm}$: /1pt

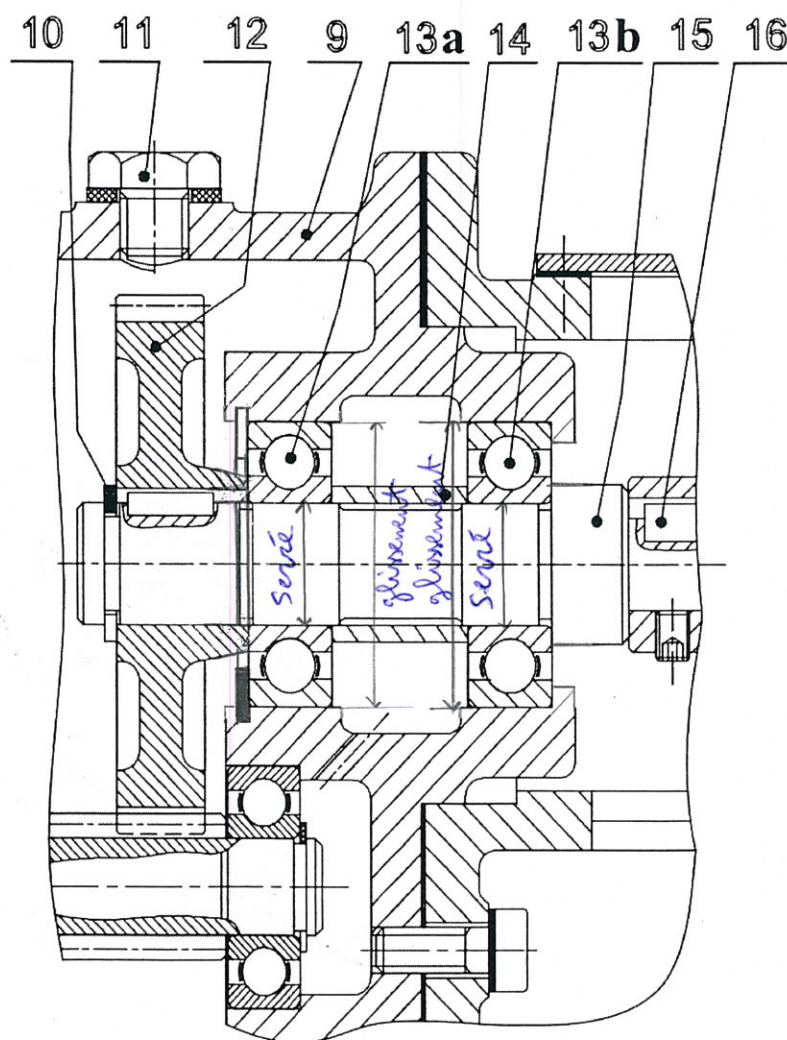
$$\text{Car on a : } \theta_{15} = 1,08 \times 10^{-5} \text{ rad/mm} < \theta_{\text{limite}} = 1,3 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

donc l'arbre 15 est rigide.

Tâche 2.3 : Représentation graphique du guidage en rotation de l'arbre 15 par rapport au carter 9.

Sur le dessin à compléter ci-dessous, on vous demande de :

- a- Assurer les arrêts en translation des bagues extérieures des roulements 13a et 13b ; /2pts
- b- Assurer les arrêts en translation des bagues intérieures des roulements 13a et 13b ; /2pts
- c- Mettre en place les types d'ajustements (serré ou glissant) relatifs au montage de ces deux roulements. /1pt



Tâche 3.1 :





a- Identifier et expliquer la désignation du matériau de l'arbre 15 :

/2pts

C40: Acier non allié pour traitement thermique ayant 0,4% de carbone

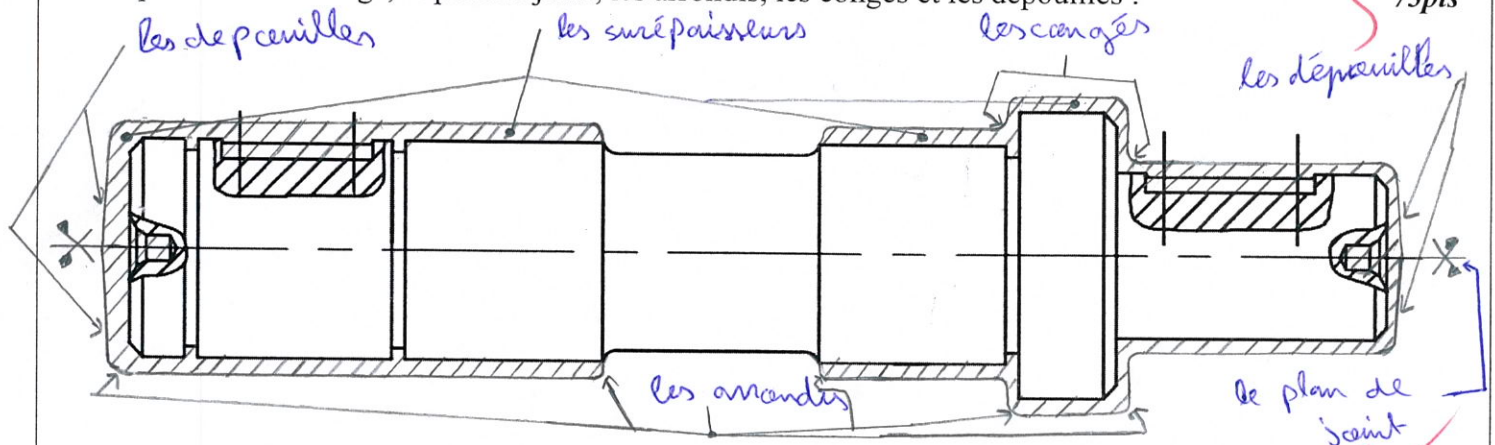
b- Compléter le tableau en indiquant le symbole, la signification et le type de tolérance des différentes spécifications géométriques utilisées dans le dessin de définition de l'arbre **15** : /4pts

/4pts

Symbole	Signification	Type de tolérance
	Perpendicularité	Orientation
	Parallélisme	Orientation
	Symétrie	Position
	Coaxialité	Position

c- Compléter le dessin du brut capable de l'arbre **15**, sachant qu'il est obtenu par estampage, en indiquant les surépaisseurs d'usinage, le plan de joint, les arrondis, les congés et les dépouilles : /5pts

/5pts



d- Citer deux avantages de l'estampage qui est le procédé d'élaboration de brut de l'arbre 15 :

/2pts

- * Meilleures caractéristiques mécaniques de la pièce estampée.
- * Meilleures spécifications géométriques et dimensionnelles de la pièce estampée.

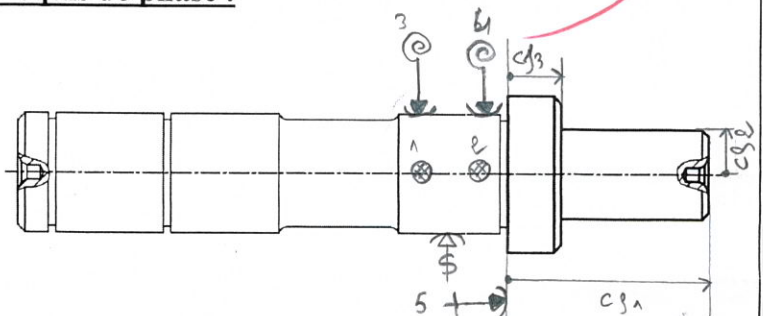
Tâche 3.2 : Étude de la phase 20. Sur le croquis, ci-dessous, relatif à la phase **20**, on vous demande de :

- a- Mettre en place les symboles technologiques (2^{ème} norme) permettant la mise et le maintien en position de l'arbre **15** en montage en l'air sur mandrin à mors doux. /2pts
- b- Installer, en négligeant les chanfreins et le centrage, les cotes fabriquées (sans valeurs) réalisées dans cette phase. /3pts
- c- Donner les spécifications obtenues dans cette phase : /2pts
- Croquis de phase :

/3pts

Croquis de phase :

f ₄	//	t ₆	f ₂	...	D ₄	⊙	t ₇	D ₃ -D _{3'}
----------------	----	----------------	----------------	-----	----------------	---	----------------	---------------------------------

$$F_2 \xrightarrow{\pm a, 1} F_4 \quad | \quad F_2 \xrightarrow{\pm a, 1} F_3$$


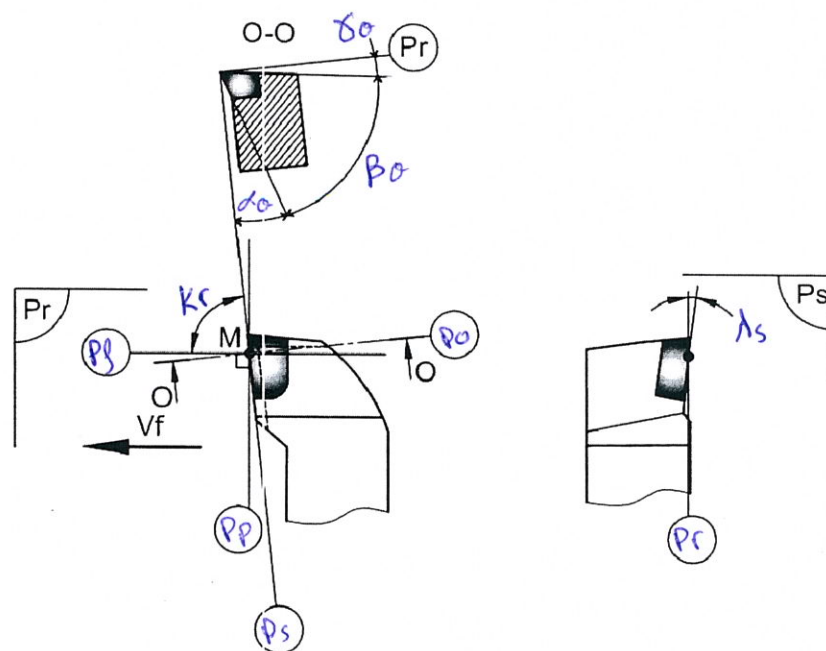
Tâche 3.3 : Étude de l'outil de réalisation de (D4, F4). Sur le croquis ci-dessous installer :

- a- Les plans de l'outil, référentiel en main, (Pr, Ps, Pf, Po et Pp) ;
- b- Les angles de faces orthogonaux (α_o , β_o , γ_o) ;
- c- L'angle de direction d'arête Kr et l'angle d'inclinaison d'arête λ_s :

/5pts

/3pts

/2pts



Tâche 3.4 : Étude de la coupe afin de valider la machine choisie pour réaliser l'ébauche de D₂, sachant que celle-ci développe, au niveau de son moteur, une puissance $P_m = 5,5 \text{ KW}$, son rendement $\eta = 0,8$ et que la profondeur de passe $a = 3 \text{ mm}$, l'avance par tour $f = 0,1 \text{ mm/tr}$, la vitesse de coupe $V_c = 210 \text{ m/min}$ et la pression spécifique du matériau usiné $k_c = 400 \text{ daN/mm}^2$.

- a- Calculer l'effort tangentiel de coupe F_c (en N) :

$$F_c = K_c \times f \times a = 400 \times 0,1 \times 3 = 120 \text{ N}$$

$$\Rightarrow F_c = 1200 \text{ N}$$

- b- Déterminer la puissance de coupe P_c (en W) :

$$P_c = F_c \times \frac{V_c}{60} = 1200 \times \frac{210}{60} = 4200 \text{ W}$$

$$\Rightarrow P_c = 4200 \text{ W}$$

- c- Déduire la puissance P_{mf} (en kW) à fournir par le moteur de la machine :

$$\text{donc } \eta = \frac{P_c}{P_{mf}} \Rightarrow P_{mf} = \frac{P_c}{\eta} = \frac{4200}{0,8} = 5250 \text{ W}$$

$$\Rightarrow P_{mf} = 5,25 \text{ kW}$$

- d- Conclure sur la validation de la machine choisie :

car on a : $P_{mf} = 5,25 \text{ kW} < P_m = 5,5 \text{ kW}$
donc la machine choisie est validée.

Tâche 3.5 :

Vérification de la capabilité du procédé de fabrication du diamètre D4 = $\varnothing 89^{+0,012}_{-0,034}$ de l'arbre 15 (DRES page 17/17), sachant que la norme exige 1,33 comme valeur minimale admise de capabilité.

On donne le tableau suivant des moyennes \bar{X} et des étendues R relatives aux huit premiers échantillons relevés :

\bar{X}	88,977	88,976	88,975	88,976	88,975	88,977	88,976	88,976
R	0,005	0,003	0,011	0,005	0,005	0,007	0,004	0,008

- a- Calculer les dimensions maximale D_{Max} (Ts) et minimale D_{min} (Ti) du diamètre D4 :

$$D_{max} = 89 - 0,012 \Rightarrow D_{Max} = 88,988$$

$$D_{min} = 89 - 0,034 \Rightarrow D_{min} = 88,966$$

- b- Calculer pour les huit échantillons la moyenne des moyennes $\bar{\bar{X}}$ et la moyenne des étendues \bar{R} :

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum(\bar{X})}{8} = \frac{711,808}{8} \Rightarrow \bar{\bar{X}} = 88,976$$

$$\bar{R} = \frac{\sum(R)}{8} = \frac{0,048}{8} \Rightarrow \bar{R} = 0,006$$

- c- Calculer l'écart-type estimé $\sigma_{estimé}$ sachant que $dn = 2,326$ et $\sigma_{estimé} = \frac{\bar{R}}{d_n}$:

$$\text{donc : } \sigma_{estimé} = \frac{\bar{R}}{d_n} = \frac{0,006}{2,326} \Rightarrow \sigma_{estimé} = 0,00258$$

(trois chiffres après la virgule)

- d- Calculer les indicateurs de capabilité Cp et Cpk :

On donne : $C_p = \frac{D_{Max} - D_{min}}{6 \sigma_{estimé}}$ et $C_{pk} = \text{Mini} \left[\frac{\bar{\bar{X}} - D_{min}}{3 \sigma_{estimé}} ; \frac{D_{Max} - \bar{\bar{X}}}{3 \sigma_{estimé}} \right] = \text{Mini} [C_{pki} ; C_{pks}]$

$$\text{donc : } C_p = \frac{D_{max} - D_{min}}{6 \sigma_{estimé}} = \frac{88,988 - 88,966}{6 \times 0,00258} \Rightarrow C_p = 1,33$$

$$\text{et donc : } C_{pk} = \text{Mini} \left[\frac{88,976 - 88,966}{3 \times 0,00258} ; \frac{88,988 - 88,976}{3 \times 0,00258} \right]$$

$$\Rightarrow C_{pk} = \text{Mini} [1,66 ; 2] \Rightarrow C_{pk} = 1,66$$

- e- Comparer les indicateurs Cp et Cpk avec la valeur minimale admise et conclure :

$$\text{donc : } C_p = 1,33 > 1,33 \text{ donc la machine est capable}$$

$$\text{et donc : } C_{pk} = 1,66 > 1,33 \text{ donc le procédé est capable}$$

- f- Déduire, parmi les trois courbes de Gauss suivantes, la courbe qui correspond aux résultats de Cp et Cpk trouvés précédemment :

la courbe 2.

